

Cálculo de la probabilidad funcional en base a distancia de viaje al trabajo, para los sistemas metropolitanos de Chicago, Barcelona, Madrid, y Santiago (Chile)

Report de recerca Nº 12

Jorge Cerda Troncoso

Diciembre 2010

Problema de investigación

La probabilidad funcional es una medida sintética de lo que se ha denominado la “funcionalidad cotidiana de las ciudades”. En términos simples, la funcionalidad urbana es la interacción que se genera entre las partes de la ciudad, para satisfacer las necesidades de los residentes y de las actividades localizadas.

Conceptualizando de manera más detallada el fenómeno de la funcionalidad cotidiana en las ciudades, se plantea que dicha funcionalidad se puede sintetizar en dos dimensiones de análisis, y dos acciones físicas verificables en la ciudad. Las dos dimensiones son el tiempo y el espacio utilizado, y las acciones son el acceso y el desarrollo de una actividad específica en la ciudad. La combinación de las dimensiones y las acciones originan los siguientes elementos que caracterizan la funcionalidad, y que son verificables y diagnosticables en la ciudad, siempre en relación a una actividad (necesidad) específica y/o también al total de actividades

La acción de acceder a las actividades tiene las dimensiones de tiempo y espacio, las que son susceptibles de ser cuantificadas. Ahora si se considera que el trabajo es una actividad, lo que no es claro, se tiene que el acceso al trabajo se puede caracterizar en tiempo y en espacio (que para efectos de este trabajo será la distancia).

Objetivos

El objetivo es calcular y comparar la probabilidad funcional de la distancia de viaje al trabajo para los sistemas metropolitanos de Chicago, Barcelona, Madrid, y Santiago de Chile.

Metodología

Como todo comportamiento humano es de carácter probabilístico, surge el concepto de probabilidad funcional, como la probabilidad que un determinado habitante utilice cierta actividad en la ciudad, estando dispuesto a pagar un costo específico para acceder y para desarrollar la actividad. Así, para un determinado costos de interacción, existe una probabilidad asociada para su realización, dependiendo, entre otros factores, de las características de la persona, y de la actividad a desarrollar.

Esta disposición a interactuar, es lo que se conoce como Probabilidad Funcional (PF), que desde el punto de vista de su cálculo, corresponde al percentil inverso (acumulación de mayor a menor) en que se ubica un determinado costo de interacción (tiempo, distancia, etc), en la curva de

distribución estadística poblacional del costo. Por lo anterior, es un indicador netamente empírico, y no teórico.

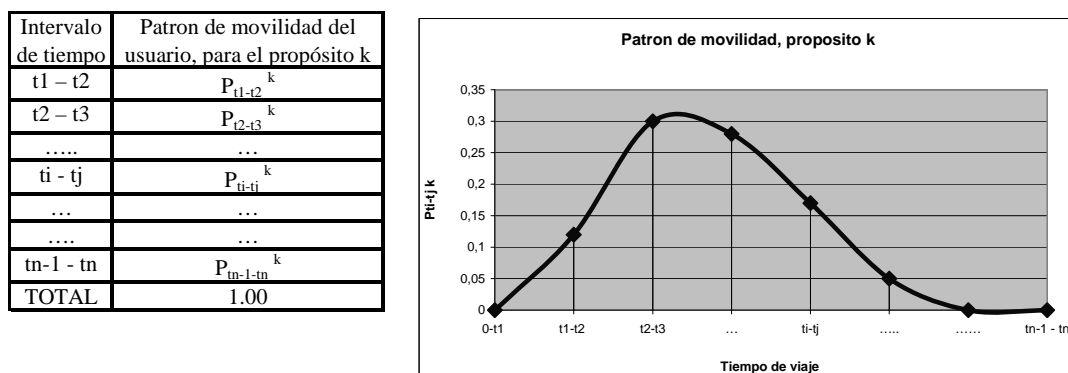
El cálculo de la probabilidad funcional pasa por una serie de pasos, los que se presentan de manera secuencial a continuación:

Paso 1.- En primera parte se construye lo que se denomina patrón de movilidad de los individuos en relación a una determinada función k (p.e.: provisión de empleo, servicios sanitarios, educativos, comerciales, etc.). En concreto, este patrón es la distribución de probabilidad de tiempos de viaje (t), para satisfacer una actividad k , en el sistema urbano.

Para construir la distribución de probabilidad de tiempos, se suman todos los viajes con propósito k (con independencia de su origen i y destino j) que tardan en realizarse un determinado tiempo t , y luego se dividen entre el total de viajes (del propósito k). Esto genera, por ejemplo, la proporción de todos los viajes con propósito de compra, que demoran un lapso de 10 minutos.

Así, P_{kt} es la probabilidad de encontrar, entre todos los desplazamientos observados con propósito k , aquellos que se realizan en un periodo temporal t . Cuando la probabilidad se calcula para todos los periodos temporales t , en los que discretamente se ha dividido el recorrido, se obtiene el patrón de movilidad de los usuarios para el propósito k , como se muestra en la figura 1.

Figura 1.- Esquema e histograma del patrón de movilidad del usuario, para un propósito k



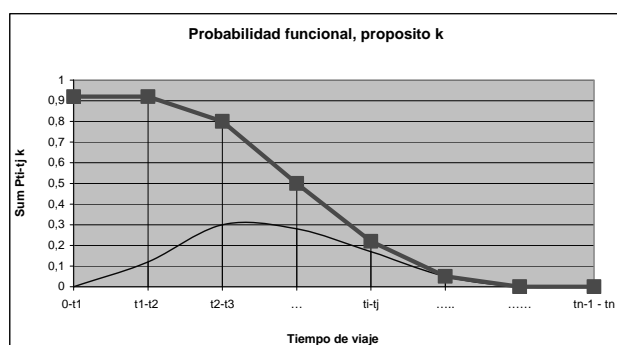
En concreto, el patrón de movilidad indica la probabilidad que un viaje genérico (independiente de su origen y destino) de propósito k , demore un tiempo t determinado. De esta manera se pueden visualizar los valores extremos (o umbrales) y los tiempos más probables de viaje para ese propósito.

En los distintos trabajos relacionados con este tema, tradicionalmente se ha utilizado el tiempo medio de viaje (Van Wee y otros, 2006). Como se ve este indicador es una distribución estadística de la movilidad, que representa un enfoque más real del fenómeno. Así, si la distribución no es simétrica, no sería correcto utilizar el tiempo medio como valor de caracterización.

Paso 2.- Calculado el patrón de movilidad, se construye la probabilidad funcional, también distinguiendo los propósitos de viaje. Para su cálculo se acumulan los valores del patrón de movilidad, en forma inversa (partiendo del tiempo mayor al menor). La probabilidad acumulada así construida (probabilidad funcional), es la probabilidad de que un viaje, de propósito k , dure cuando menos un tiempo determinado, como se ilustra en la figura 2.

Figura 2.- Esquema e histograma de la probabilidad funcional del usuario, para un propósito k

Intervalo de tiempo	Patron de movilidad del usuario, para el propósito k	Probabilidad funcional del usuario, para el propósito k
$t_1 - t_2$	$P_{t_1, t_2 k}$	$P_{t_{n-1}, t_n k} + \dots + P_{t_i, t_j k} + \dots + P_{t_2, t_3 k} + P_{t_1, t_2 k} = 1.00$
$t_2 - t_3$	$P_{t_2, t_3 k}$	$P_{t_{n-1}, t_n k} + \dots + P_{t_i, t_j k} + \dots + P_{t_2, t_3 k}$
...	...	$P_{t_{n-1}, t_n k} + \dots + P_{t_i, t_j k} + \dots$
$t_i - t_j$	$P_{t_i, t_j k}$	$P_{t_{n-1}, t_n k} + \dots + P_{t_i, t_j k}$
...	...	$P_{t_{n-1}, t_n k} + \dots$
...	...	$P_{t_{n-1}, t_n k}$
$t_{n-1} - t_n$	$P_{t_{n-1}, t_n k}$	$P_{t_{n-1}, t_n k}$
TOTAL	1.00	



La decisión de utilizar el percentil inverso surge por la similitud de este (y su escala de valores) con el concepto de disposición o disponibilidad de la población a pagar determinados costos (comportamiento decreciente a mayor costo).

Para los sistemas de Chicago, Barcelona, Madrid, y Santiago (Chile) se calculo la probabilidad con los siguientes criterios:

1. Se utilizaron matrices de viajes al trabajo (en general 2001), publicadas por los respectivos censos nacionales de cada país, a escalas de municipios, y en el caso de Chicago a escala de census tract.
2. En el software Transcad se calcularon las matrices de distancia por red vial entre todos los municipios considerados en las correspondientes regiones metropolitana.
3. Para los sistemas metropolitanos de Barcelona y Madrid se calcularon distancias intrazonales para los municipios a partir de zonificaciones menores (secciones censales), calculando matrices de rutas mínimas intramunicipios. Esto no fue posible realizarlo para el sistema de Santiago.

Resultados

La tabla 1 muestra los resultados en lo que se refiere a caracterizar los viajes al trabajo en los distintos sistemas analizados.

Tabla 1.- Características espaciales de los viajes al trabajo para los sistemas metropolitanos analizados

	Chicago	Barcelona	Madrid	Santiago
Viajes totales	4.021.339	1.878.817	2.349.920	1.981.587
Distancia promedio ponderada (mt)	18.150	10.031	16.136	10.550
Percentil 10 (mt)	1.770	1.876	3.318	
Percentil 20 (mt)	4.727	2.630	8.882	
Percentil 30 (mt)	7.360	3.632	8.882	
Percentil 40 (mt)	10.248	5.307	8.882	5.995
Percentil 50 (mediana) (mt)	13.573	5.307	8.882	8.829
Percentil 60 (mt)	17.454	5.307	8.882	11.788
Percentil 70 (mt)	22.562	8.095	13.071	14.616
Percentil 80 (mt)	29.756	12.096	19.633	18.686
Percentil 90 (mt)	41.040	21.010	27.103	23.380

De la tabla se deducen varias situaciones interesantes:

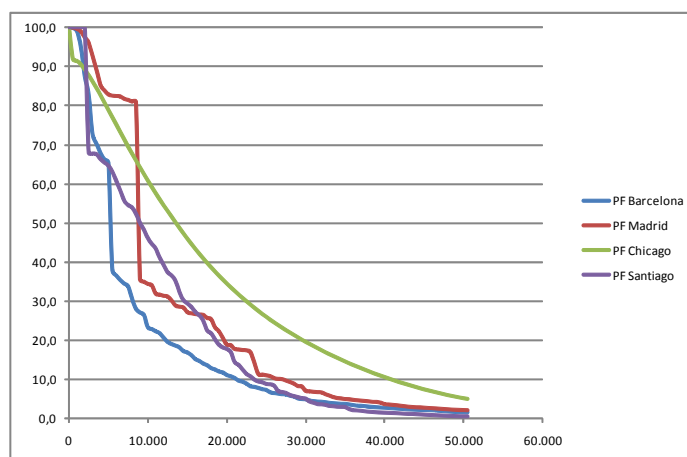
- Respecto del número de viajes totales, Chicago presenta casi el doble de los otros sistemas metropolitanos. Barcelona es el sistema con menos viajes totales, que junto con Santiago están por bajo los 2.000.000 de viajes diarios.
- Analizando la distancia promedio ponderada, Chicago presenta diferencias significativas con Barcelona y Santiago, en cambio con el sistema de Madrid sólo se diferencian en 2 kilómetros. Llama la atención la similitud de la distancia media ponderada entre Barcelona y Santiago, siendo que presentan estructuras locacionales estructuralmente distintas.
- En cambio analizando la distancia mediana, se aprecia una similitud entre los sistemas de Madrid y Santiago, los que a su vez se diferencian significativamente de Chicago en más de 4 kilómetros. Barcelona es el sistema de funcionamiento más compacto de todos, alcanzando una distancia que representa casi un tercio de la de Chicago.
- Analizando el 10% de los viajes más largos (percentil 90) se aprecia la gran expansión del viaje al trabajo de Chicago, alcanzando distancias casi el doble del resto de sistemas. En estos viajes Barcelona se asimila a Santiago, teniendo Madrid una distancia no tanto mayor (4 kilómetros) que estas últimas.
- En el 10% de los viajes más cortos, Chicago presenta el menor valor de todos los sistemas.

Si bien, como se planteará luego en las conclusiones, existen algunos errores que no hacen comparables los valores de los viajes más cortos, a nivel del percentil 40 en adelante los comportamientos cambian al comparar los sistemas metropolitanos. Queda demostrado que la media ponderada no permite concluir claramente una situación compleja, que si es diagnosticada en el análisis de los percentiles.

A continuación en la tabla 2 se muestran las probabilidades funcionales del los viajes al trabajo para los distintos sistema metropolitanos analizados.

Tabla 2.- Probabilidades funcionales de los sistemas metropolitanos

Distancia (m)	PF Barcelona	PF Madrid	PF Chicago	PF Santiago
0	100,0	100,0	100,0	100,0
500	99,8	99,9	91,9	100,0
1.000	99,1	99,6	91,4	100,0
1.500	95,0	99,0	90,5	100,0
2.000	87,6	97,5	89,2	100,0
2.500	82,7	96,0	87,8	67,9
3.000	72,5	92,5	86,2	67,7
3.500	70,2	89,1	84,5	67,6
4.000	67,9	85,2	82,6	66,3
4.500	66,2	83,8	80,8	65,4
5.000	65,4	82,8	78,9	64,7
5.500	37,9	82,5	77,0	63,1
6.000	36,5	82,4	75,2	60,7
6.500	35,4	82,3	73,3	58,3
7.000	34,5	81,7	71,4	55,7
7.500	33,8	81,4	69,5	54,5
8.000	30,5	81,0	67,7	53,9
8.500	28,0	80,9	66,0	52,3
9.000	27,1	35,5	64,3	50,0
9.500	26,5	34,9	62,6	48,3
10.000	23,3	34,3	60,8	46,1
10.500	22,9	34,0	59,2	44,7
11.000	22,3	31,9	57,6	43,4
11.500	21,8	31,6	56,1	41,1
12.000	20,7	31,3	54,5	39,2
12.500	19,6	31,1	53,1	37,4
13.000	19,0	30,1	51,7	36,6
13.500	18,6	28,8	50,2	35,2
14.000	18,2	28,5	48,9	32,4
14.500	17,2	28,3	47,5	30,3
15.000	16,9	27,1	46,1	29,4



Los valores de la tabla se deben interpretar de la siguiente forma; un viaje al trabajo que recorra una distancia de 5 kilómetros tiene una probabilidad de efectuarse de un 65% en Barcelona, 83% en Madrid, 70% en Chicago, y 65% en Santiago. Los valores muestran una relativa similitud en la probabilidad de todos los sistemas, solo Madrid presenta un valor comparativamente más alto.

Se se hace el mismo análisis para un viaje al trabajo de 10 kilómetros, la probabilidad cae significativamente en Barcelona (23%), también en Madrid (34%). Chicago se mantiene alto (61%), y le sigue Santiago (46%).

Conclusiones

La probabilidad funcional, y el enfoque estadístico de los tiempos y distancias de viaje, presentan una serie de ventajas asociadas al entendimiento del fenómeno en toda su dimensión. Pero por otra parte la mayor realidad en el diagnóstico hace más complejo el tomar una postura única, como por ejemplo asociar el efecto de la expansión física de las ciudades al comportamiento de los viajes.

Pero, si se hace el ejercicio inverso, en el sentido dar por cierto el conocimiento perceptual de los distintos sistemas analizados, y aceptar que Chicago es el sistema más disperso, seguido por Madrid, Santiago, siendo Barcelona el sistema más compacto, es el análisis de los percentiles y la probabilidad funcional los indicadores que más ratifican estas tesis.

El problema de cálculo al que se hizo mención en la presentación de los resultados tiene que ver con las unidades de análisis, pues por mucho que se haga un esfuerzo en calcular mejores distancias intramunicipales, la magnitud del total de viajes intramunicipales de las cabeceras hacen que las distribuciones muestren fuertes discontinuidades (como se aprecian en la gráfica de la tabla 2). Esta situación no ocurre en el caso de Chicago, en donde se dispone de una matriz de viajes de unidades de baja resolución espacial, logrando una curva armónica y continua.

Una interesante duda teórica que surge de este análisis, no se refiere a comparar sistemas entre sí, sino más bien a analizar si los comportamientos detectados son independientes de las escalas espaciales consideradas (número de municipios), y/o número de viajes considerados. Si fuese esto cierto (la independencia) estaríamos frente a un **generalidad** del comportamiento de un sistema territorial, recurso tan preciado en el ámbito de la investigación.